

PROSES PEMBENIHAN (SEEDING) DAN AKLIMATISASI PADA REAKTOR TIPE FIXED BED

Indriyati

Peneliti di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta

Abstrak

Proses pembenihan (seeding) dan aklimatisasi menggunakan reaktor lekat diam terendam menggunakan media cincin keramik yang menggunakan substrat limbah cair pabrik permen, memperlihatkan aktivitas bakteri semakin stabil pada hari ke 91 sampai hari ke 99. hal tersebut dapat dilihat dari penyisihan COD sebesar 82 – 86 % konsentrasi gas metan berkisar antara 62 – 69 %, rentang pH 6,8 – 7,23 dan bakteri sudah melekat.

Kata Kunci : Anaerob, Fixed bed, Seeding dan aklimatisasi.

I. PENDAHULUAN

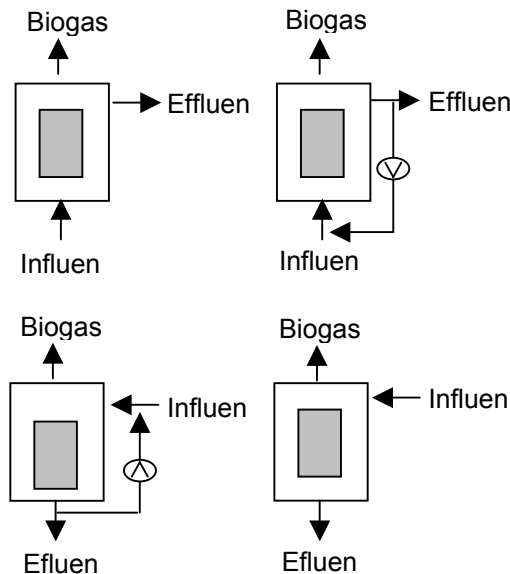
Pada pengolahan limbah organik secara biologis dengan menggunakan Anaerobic Fixed Bed Reactor (Reaktor Anaerobik Lekat Diam Terendam dengan media pendukung), yaitu pengolahan secara anaerobik dengan pertumbuhan biomassa terlekat, sangat ditentukan oleh proses pembenihan (Seeding) dan aklimatisasi. Proses anaerobik adalah merupakan proses degradasi bahan organik kompleks berupa karbohidrat, protein atau lemak yang dihidrolisa menjadi bahan organik sederhana yaitu asam amino, glukosa dan asam lemak. Bahan organik sederhana tersebut kemudian melalui proses asidogenesis dirubah menjadi asam volatile yaitu propionat, butirat yang kemudian akan berubah menjadi asetat, H_2 dan CO_2 melalui proses asetogenesis, setelah itu melalui proses metanogenesis dirubah menjadi metan (CH_4) dan CO_2 . Proses pembenihan dan aklimatisasi pada sistem anaerobik dipengaruhi oleh media pendukung, proses pertumbuhan melekat dan metode operasi reaktor lekat diam.

Pemilihan media pendukung⁶⁾ untuk tumbuhnya bakteri sangat mempengaruhi kinerja dari reaktor yang akan digunakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektifitas media pendukung adalah ukuran dan bentuk, perbandingan luas permukaan dan volume, porositas dan kekasaran permukaan media pendukung.

Proses pertumbuhan melekat di dalam reaktor yang terjadi adalah bakteri tumbuh dan berkembang biak diatas suatu media pendukung dengan membentuk suatu lapisan lendir atau biofilm. Mekanisme proses yang terjadi adalah transportasi dan adsorpsi cairan substrat/mikroorganisme ke fasa biofilm, reaksi metabolisme mikroorganisme sehingga terjadi mekanisme pertumbuhan, kestabilan dan kematian, adanya akumulasi biofilm secara kontinu pada media dan adanya mekanisme pelepasan biofilm. Keuntungan menggunakan pertumbuhan melekat adalah dapat menghindari penyumbatan, konsentrasi biomassa yang tinggi dapat dicapai, adanya kontak yang baik antara air limbah dengan mikroorganisme dan memberikan waktu yang lama kepada mikroorganisme anaerobi dalam pertumbuhannya.

Untuk metode operasi reaktor lekat diam, pada pengoperasiannya, pola aliran secara ke atas (upflow) atau ke bawah (downflow). Aliran upflow, keuntungannya adalah akan terbentuk lumpur yang mengandung massa mikroorganisme dan mikroorganisme tidak mudah terbawa keluar. Kerugiannya yaitu pembentukan lumpur akan menyumbat media pendukung. Sedangkan untuk aliran downflow, keuntungannya penyumbatan dapat dikurangi tapi kerugiannya jumlah mikroorganisme lebih sedikit daripada

aliran upflow. Pengoperasian dapat juga dilakukan dengan melakukan sirkulasi karena sangat berguna untuk mengolah limbah dengan bahan dengan organik yang tinggi. Jika ada sirkulasi maka dapat mengencerkan bahan organik yang tinggi, pengatur pH, menstabilkan temperatur, serta membantu proses pengadukan. Gambar 1. memperlihatkan beberapa metode pengoperasian reaktor lekat diam terendam



Gambar 1. Model Operasi Reaktor Lekat diam⁷⁾

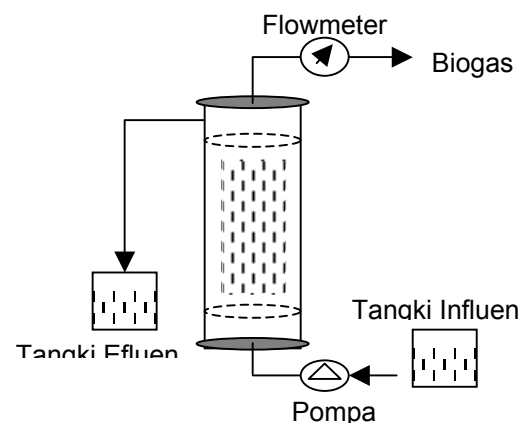
Media yang digunakan yaitu cincin keramik berdiameter dan tinggi 3 cm. Media yang digunakan adalah cincin keramik karena media ini mempunyai luas permukaan efektif 108 m²/m³, porositas 81 %, inert, gampang dibuat. Pembenihan dilakukan untuk menumbuhkan mikroba yang akan dipakai dalam penelitian. Aklimatisasi bertujuan untuk mengadaptasikan mikroba yang terbentuk dengan limbah yang akan diolah. Penelitian ini dilakukan untuk melihat kestabilan mikroorganisme pada proses pembenihan (seeding) dan aklimatisasi pada reaktor tipe Fixed bed dalam pengolahan limbah cair pabrik permen yang mengandung bahan organik cukup tinggi.

II. BAHAN DAN METODELOGI.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor lekat diam terendam dengan media cincin keramik,

pompa peristaltik untuk memompa substrat masuk ke reaktor, gas flowmeter untuk mengukur volume gas yang terbentuk, tangki influen, tangki efluen. Reaktor tersebut terbuat dari pipa PVC dengan volume efektif 20,36 L, untuk jelasnya dilihat pada Gambar 2.

Pembenihan dilakukan untuk menumbuhkan mikroba yang akan dipakai dalam penelitian.



Gambar 2. Reaktor Lekat Diam Terendam Media Cincin Keramik.

Aklimatisasi untuk mengadaptasikan mikroba yang terbentuk dengan limbah yang akan diolah. Seeding dan aklimatisasi dilakukan secara bersamaan karena pembenihan langsung didalam reaktor. Sumber bakteri diisikan langsung ke dalam reaktor sampai penuh, sehingga dapat dihitung volume kerjanya sebesar 20,36 L. Porositas reaktor dapat diketahui dengan menghitung perbandingan antara volume total dengan volume kerja. Volume total sebesar 25,1 L, maka porositas reaktor sebesar 81 %. Setelah bibit bakteri dimasukkan ke dalam reaktor, lalu di sirkulasi selama 8 hari. Selama 8 hari tersebut dikontrol kondisinya dengan pengukuran pH, temperatur, COD terlarut, VSS, TSS, gas metan. Diasumsikan mikroba telah menempel dan mulai tumbuh dengan melihat konsentrasi COD terlarut dan VSS turun. Selain itu sudah ada gas metan yang dihasilkan menandakan bahwa mikroba juga telah mulai bekerja.

Kemudian bibit mikroba diberi makan secara kontinyu dengan limbah permen yang konsentrasi COD terlarutnya bertahap dari yang rendah sampai mencapai 13.000 mg/L, sesuai dengan yang akan diolah dengan reaktor ini, seperti pada Tabel 1. Kenaikkan konsentrasi makanan dapat dilihat dari stabilnya COD terlarut effluen, dan turunnya gas metan. Selain itu, pentahapan konsentrasi makanan juga dilihat dari laju bebannya, agar dapat mendekati laju beban dari variasi waktu tinggal yang dikehendaki.

Debit makanan sebanyak 1 L/hari-nya, yaitu memasukkan influen sebanyak 1 L dan menampung effluen sebanyak 1 L. Pemberian makanan dilakukan setiap hari agar limbah influen yang masuk lebih *fresh* dan tidak mengalami banyak perubahan kondisi. Untuk menentukan konsentrasi limbah cair yang masuk, maka limbah dikondisikan sesuai konsentrasi yang dikehendaki. Limbah yang disimpan di *freezer* dilelehkan dahulu agar cair, lalu diencerkan dengan rumus :

$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

Dimana :

V1 = Volume limbah yang dibutuhkan

M1 = Konsentrasi COD terlarut limbah cair

V2 = Volume limbah yang ingin dimasukkan (contoh = 1 L)

M2 = Konsentrasi COD terlarut yang ingin dimasukkan (contoh = 5000 mg/L).

M2 = Konsentrasi COD terlarut yang ingin dimasukkan (contoh = 5000 mg/L).

Setelah konsentrasi COD terlarut yang ingin dimasukkan (contoh = 5000 mg/L) dikondisikan dahulu pH-nya pada pH 7 dengan penambahan NaHCO_3 . Pada tahap pemberian makanan ini parameter yang diukur pH, temperatur, COD terlarut, VSS, TSS, gas metan, alkanitas, TAV. Akhir dari tiap tahap aklimatisasi yaitu sewaktu penurunan COD stabil dan degradasinya 80%. Pada tiap tahap aklimatisasi juga dicek kandungan N dan P untuk mengetahui perbandingan COD : N : P yaitu 700 : 5 : 1. Sumber N dan P diperlukan sebagai nutrisi tambahan untuk pertumbuhan mikroba ²⁾.

Pengambilan sample sewaktu penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pada saat reaktor disirkulasi, pengambilan sample tiap hari di titik effluen.
2. Pada saat aklimatisasi atau sudah diberikan makanan dengan limbah, Pengambilan sample tiap 2 atau 3 hari sekali di titik influen dan effluen.
3. Pengukuran gas CH_4 dilakukan tiap pengambilan sampel parameter penting yaitu COD terlarut. Volume biogas perhari dapat dilihat di gas *flowmeter* lalu diukur gas CH_4 - nya dengan *methan tester* untuk membaca skala persen gas CH_4 .

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan penelitian pendahuluan, alat-alat dan bahan dipersiapkan terlebih dahulu. Bahan disini yang dimaksud adalah sumber mikroorganisme yaitu bakteri yang diambil untuk dikembangkan biakkan dalam reaktor. Bahan baku untuk sumber bakteri diperoleh dari limbah effluen pengolahan anaerob di pabrik permen. Karakteristik dari limbah effluen tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Karakteristik Limbah Effluen Anaerob

Parmeter	Konsentras
COD (mg/L)	2284,84
BOD (mg/L)	570
VSS (mg/L)	1962
TSS (mg/L)	3298
pH	6-9
N total (mg/L)	12
P total (mg/L)	0,5
Minyak dan Lemak (mg/L)	<5
MBAS (mg/L)	<0,2

(Sumber : PT. Nusantara Water Centre, April 2001)

Sumber bakteri ini dipilih karena diindikasikan bahwa pada effluen pengolahan anaeroba dari pabrik permen tersebut terdapat banyak bakteri anaerob yang ikut terbawa keluar. Selain itu, pada proses pembenihan dan aklimatisasi digunakan limbah permen yang sama , sehingga adaptasinya akan mudah dan cepat. Limbah permen yang akan digunakan diambil dari saluran limbah produksi pabrik. Karakteristik Limbah Cair dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Cair.

Parameter	Konsentrasi
COD total mg/L	30345,79
COD terlarut mg/L	17617,44
BOD mg/L	7500
VSS mg/L	7270
TSS mg/L	7572
N total mg/L	454,72
P total mg/L	15,39
Minyak dan lemak mg/L	413
pH	4,50

(Sumber : Balai Teknologi Lingkungan, Agustus 2001)

Limbah yang konsentrasi COD – nya antara 2000 - >20000 mg/L sebaiknya diolah dengan pengolahan anaerob⁴⁾. Selain itu perbandingan nilai BOD dan COD limbah permen tersebut adalah 0,42, dimana perbandingan nilai BOD dan COD untuk air buangan yang dapat didegradasi adalah 0,4 – 0,8⁵⁾. Melihat kondisi – kondisi tersebut maka pada penelitian ini dipakai pengolahan anaerob dengan reaktor lekat diam terendam bermedia cincin keramik. Media cincin keramik dipilih karena inert (*nonbiodegradable*), juga mempunyai luas spesifik 108 m²/m³ dan porositas 0,81.

Pada masa seeding dan aklimatisasi bakteri dikembangkan langsung di dalam reaktor, agar bakteri tersebut langsung dapat menempel pada media cincin keramik.

Sumber bakteri diambil dari effluen pengolahan anaerob pabrik permen yang mempunyai nilai COD sebesar 2284,89 mg/L dan VSS sebesar 1962 mg/L. Pemberian nutrisi dilakukan karena perbandingan COD : N : P yang tidak memenuhi, seperti dilihat pada Tabel 2. dalam literatur²⁾, perbandingan COD : N : P = 700 : 5 : 1. Sumber N yaitu NH₄Cl dan sumber P yaitu KH₂PO₄ diberikan ke dalam reaktor sesuai dengan perbandingan.

Selama seeding yaitu 8 hari tersebut tidak diberi makanan sampai nilai COD – nya turun yang menandakan bahwa sudah ada aktivitas bakteri. Aktivitas bakteri juga ditunjukkan dengan turunnya nilai VSS yang berarti bakteri sudah mulai menempel dan gas metan yang sudah mulai dihasilkan

(Tabel 4). Pada hari ke – 8 nilai COD terlarut sudah turun menjadi 1031,62 mg/L dengan penyisihan sebesar 55%. Nilai COD terlarut ini merupakan parameter kandungan bahan organik yang dipakai bakteri sebagai makanan. Selain itu gas metan sudah terbentuk di hari ke-3, dan pada hari ke-8 yang sebesar 2,247 L/hr seperti pada Tabel 4. Gas metan terbentuk karena bakteri metan sudah mulai bekerja mendegradasi asam – asam organik.

Tahap selanjutnya dilakukan yaitu aklimatisasi atau pengadaptasian bakteri yang sudah menempel dengan limbah cair yang akan diolah yaitu dari saluran limbah pabrik permen sebagai sumber makanan bagi bakteri. Pengadaptasian dilakukan dengan memberikan makanan atau substrat secara bertahap yaitu dengan konsentrasi COD – nya dari yang kecil sampai konsentrasi yang akan diolah pada penelitian ini, penentuan Td 20 hari dari volume reaktor 20,36 L per Q influen 1L/hari, seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Peningkatan Konsentrasi Limbah dan

Laju Beban Organik.

Konsentrasi Limbah (mg COD/L)	Debit Limbah (L/hr)	Laju Beban Organik (kgCOD/m ³ hr)
5000	1	0,24
8000	1	0,39
11000	1	0,54
13000	1	0,65
13000	1,45	0,93

(Sumber : Hasil Penelitian, 2001).

Ini dilakukan agar bakteri tersebut terbiasa dulu dengan konsentrasi yang kecil dahulu, jika sudah mulai kekurangan makanan baru dinaikkan konsentrasi makanannya. Jika pemberian makanan langsung pada konsentrasi yang besar, bakteri yang masih rentan dan belum banyak jumlahnya akan mengalami *shock loading*, karena bakteri belum mampu untuk mendegradasi bahan organik. Pada hari ke – 9 pemberian makanan mulai dilakukan dengan konsentrasi pertama 5000 mg/L. Konsentrasi effluen sempat naik sedikit, ini dikarenakan bakteri sempat kaget dengan adanya penambahan makanan. Tetapi kemudian

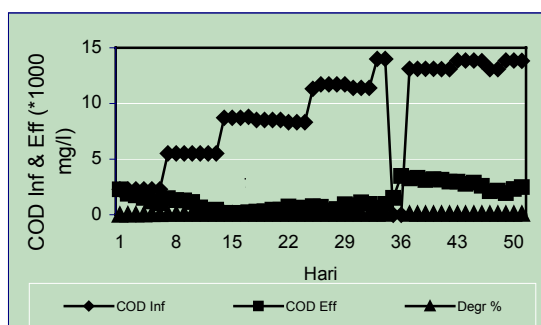
konsentrasi effluen mulai turun lagi yang menandakan bakteri mulai bekerja lagi. Penurunan konsentrasi COD terlarut ini karena bakteri memakan bahan organik sebagai nutrisi (Gambar 3). Selain itu gas metan yang dihasilkan juga mulai meningkat sekitar 50 – 70 % dari gasbio yang dihasilkan (Gambar 5). Nilai VSS juga turun yang menandakan bakteri sudah menempel (Gambar. 4). Rentang pH juga bagus yaitu 7 – 8 dan bakteri metan bisa bekerja di pH 6 – 8²⁾ (Gambar 6).

Pengontrolan pH dilakukan dengan penambahan bikarbonat yaitu NaHCO₃

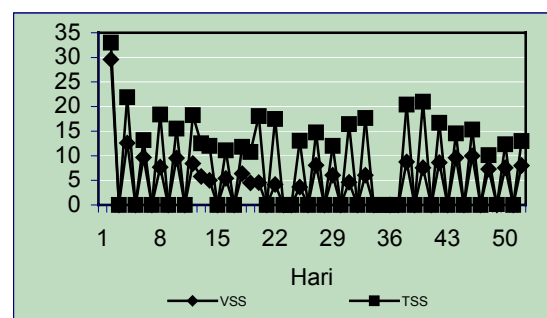
Tabel 5. Data Seeding dan Aklimatisasi

No	Hari Ke	PH	Suhu C	COD In mg/L	Cod Out mg/L	Q Lt/hr	Eff %	VSS mg/L	TSS mg/L	Biogas Lt/hr	CH ₄ %	Ch Lt/hr
1	1	8.44	27.8	2284.89	2284.89	*	0	1962	3298	0	0	0
2	2	8.62	28.6	2284.89	1897.82	*	17			*	*	*
3	3	8.58	28.5	2284.89	1735.49	*	24	1260	2188	3.542	28%	0.992
4	8	8.19	27.9	2284.89	1031.63	*	55			4.322	52%	2.247
5	9	8.07	28.5	5514.71	1475.59	1	73	766	1836	4.32	62%	2.680
6	18	8.12	28.5	5514.71	417.98	1	92	582	1254	6.816	58%	3.953
7	21	9.08	28.7	5514.71	449.15	1	92	502	1202	6.394	52%	3.325
8	22	7.94	28.6	8712.84	181.60	1	98			1.987	44%	0.874
9	33	7.69	28.2	8306.37	732.23	1	91			2.533	54%	1.368
10	36	7.89	28.6	8306.37	624.61	1	92			11.213	68%	7.625
11	37	7.84	27.9	8306.37	620.58	1	93	366	1306	3.624	65%	2.356
12	38	7.31	28.4	11306.21	767.55	1	93			3.202	72%	2.305
13	40	7.74	28.5	11701.05	390.34	1	97			3.120	66%	2.059
14	44	7.74	27.7	11391.06	845.93	1	93	466	1640	3.398	52%	1.767
15	45	7.88	28.0	11391.06	1100.68	1	90			2.228	56%	1.248
16	46	7.95	28.0	11391.06	963.51	1	92	604	1764	2.335	45%	1.051
17	50	7.18	28.7	14004.66	630.38	1	95			9.688	46%	4.456
18	55	5.88	27.5	*	1507.29	*				3.812	48%	1.830
19	63	6.34	27.8	*	3486.53	*				21.202	0%	0.000
20	64	6.44	27.8	13125.31	3253.83	1	75	872	2038	0.940	11%	0.103
21	91	6.93	27.0	13096.23	2171.09	1.45	83			7.95	69%	5.486
22	94	6.82	27.6	13861.22	1947.59	1.45	86	758	1230	12.269	66%	8.094
23	96	9.09	27.8	13861.22	2316.37	1.45	83			8.903	62%	5.520
24	99	7.23	27.9	13816.85	2472.82	1.45	82	804	1298	14.436	62%	8.950

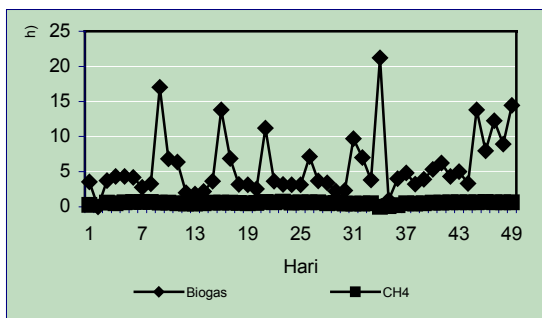
(Sumber : Hasil penelitian, 2001).



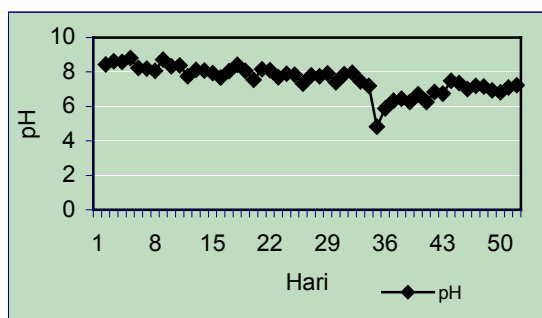
Gambar 3. Kandungan COD influen dan COD Effluen.



Gambar 4. Konsentrasi VSS dan TSS (mg/L)



Gambar 5. Produksi biogas dan metan (L/h).



Gambar 6. pH effluen proses seeding dan aklimatisasi

Pada hari ke 22, konsentrasi makanan dinaikkan menjadi 8000 mg/L. konsentrasi effluen sampai hari ke - 33 naik sampai 723,23 mg/L. Ini dikarenakan bakteri beradaptasi dulu dengan konsentrasi yang baru. Produksi gas juga tidak banyak, tiap harinya berkisar antara 0,8 – 0,6 L/hari. Pada hari ke - 33 sampai ke - 37, nilai COD mulai turun dan produksi gas metan bertambah sampai 65 % dari biogas yaitu 2,356 L/hari (Gambar . 5), pH juga masih dalam rentang kondisi anaerob yaitu 7,55 – 8,41. Bakteri siap untuk tahap berikutnya.

Kondisi reaktor dikatakan stabil, karena nilai COD yang turun berarti bakteri memakai bahan organik yang ada pada substrat sebagai nutrisi. Aktivitas bakteri metan yang ada tersebut menghasilkan gas metan, yang nilai kandungan gas metan sesuai dengan rentang komposisi gas metan terbentuk sewaktu pengolahan yaitu 55% -- 75% ¹⁾ sehingga kinerja reaktor dalam keadaan baik.

Pada hari ke 38, konsentrasi makanan dinaikkan menjadi 11000 mg/L. Konsentrasi COD sempat turun sampai hari ke 40, produksi gas metan juga menurun

sekitar 2 L/hari, akan tetapi pada hari ke 41 sampai hari ke 45, COD mulai naik lagi. Hari ke 45 tersebut produksi gas metan turun menjadi 1,248 L/hari. Pada hari ke - 46 COD turun menjadi 963,51 mg/L, tapi gas metannya 1,951 L/hari.

Dengan pertimbangan bahwa produksi gas metan berkurang karena kurangnya makanan untuk bakteri, maka pada hari ke - 50 konsentrasi makanan dinaikkan menjadi 13.000 mg/L. Akan tetapi baru 5 hari berjalan, reaktor mulai menunjukkan ketidak stabilan, karena terjadi penurunan pH menjadi 5,88.

Nilai COD yang sempat turun kembali naik lagi menjadi 1507,29 mg/L. Persen gas metan juga turun menjadi 48% dari gasbio yang dihasilkan. Ketidak stabilan ini terjadi disebabkan kenaikan konsentrasi makanan yang terlalu cepat, sehingga bakteri metanogenik yang pertumbuhannya lebih lambat daripada bakteri asidogenik belum siap untuk mengolah beban organik yang lebih besar. Bakteri yang berperan besar pada saat ini adalah bakteri asidogenik yang dalam pengolahannya melepaskan ion H⁺. oleh karena itu, pemberian makanan dihentikan. Reaktor diresirkulasi agar terjadi keseragaman pH di dalam reaktor. Reaktor diresirkulasi selama 8 hari. Selain diresirkulasi, diberi juga larutan NaHCO₃ 0,4 M ke dalam reaktor. Selama resirkulasi produksi biogas dan gas metan sempat tidak ada.

Pada hari ke - 64, nilai pH menunjukkan 6,44 dan nilai COD sebesar 3125,31 mg/L. Nilai pH tersebut masih masuk dalam rentang kondisi anaerob, maka mulai diberi makanan lagi dengan konsentrasi 13000 mg/L sebanyak 1 L/hr. Ternyata setelah dilihat selama 20 hari, reaktor kembali stabil. Nilai COD kembali turun mengalami peningkatan sampai 62% dari produksi gsbio, sedangkan rentang persen CH₄ pada pengolahan anaerob adalah 55 – 75%¹⁾. Karena sudah stabil, maka pemberian makanan dinaikkan volumenya sebesar 1,45 L/hr.

Dari hari ke - 65 sampai hari ke - 99, aktivitas bakteri semakin stabil. Efisiensi COD sebesar 82%. Selain itu kadar gas metan semakin naik. Rentang pH juga baik sekitar 6,82 – 7,23.

Konsentrasi COD effluen konstan dengan efisiensi penyisihan COD effluen sekitar 80%. Proses pembenihan dan aklimatisasi dianggap selesai setelah kandungan metan dan efisiensi reactor dianggap stabil pada hari ke 91 sampai dengan hari ke 99.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian pembenihan (seeding) dan aklimatisasi menggunakan reactor lekat diam terendam dengan media cincin keramik yang menggunakan limbah cair pabrik semen, terlihat aktivitas bakteri semakin stabil pada hari ke 91 sampai dengan hari ke 99. Hal tersebut terlihat pada parameter sebagai berikut :

- Konsentrasi COD effluen stabil dengan penyisihan COD sebesar 82 – 86%.
- Kandungan presen konsentrasi gas metan cukup baik dan stabil pada kisaran 62 – 69%.
- Rentang pH pada akhir proses aklimatisasi cukup baik sekitar 6,8 – 7,23.
- Nilai VSS berkisar antara 758 mg/L – 804 mg/L, sedangkan TSS berkisar antara 1230 mg/L – 1298 mg/L memperlihatkan bakteri sudah menempel.

DAFTAR PUSTAKA

1. Grady, C.P.L. and Lim, H.C. 1980. Biological Wastewater Treatment, New York: Marcel Dekker. Inc.
2. Weiland, P and K. Wulfert. 1986. Pilot Plant Studies of Different Anaerobic Filter Types for Stillage Treatment. EWPCA Convergence on Anaerobic Wastewater Treatment, September. Amsterdam.

3. Weiland, P. 1987 Development of Anaerobic Filters for Treatment of High Strength Agro Industrial Wastewater, Bio Process Engineering 2. Springer, Verlag.
4. Degremont. 1991 Wastewater Treatment Handbook, 6th edition. Paris : Lavoisier Publishing.
5. Metcalf and Eddy. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal Reuse 2th. Singapore : Mc. Graw Hill.
6. Malina. Joseph F and Frederick G. Pohland. 1992. Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Waste. Pennsylvania : Technomic Publishing Company Inc.
7. Droste, Ronald R. 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. Toronto : John Wiley and Sons.